

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Shaowei ZHU, et al.

GAU:

SERIAL NO: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: CRYOGENIC REFRIGERATOR

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.

☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e): Application No. Date Filed

☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

COUNTRY

APPLICATION NUMBER

MONTH/DAY/YEAR

Japan

2003-092027

March 28, 2003

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

☒ are submitted herewith

☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

☐ were filed in prior application Serial No. filed

☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number

Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and

☐ (B) Application Serial No.(s)

☐ are submitted herewith

☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.


C. Irvin McClelland

Registration No. 21,124

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 05/03)

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 3月28日
Date of Application:

出願番号 特願2003-092027
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP2003-092027]

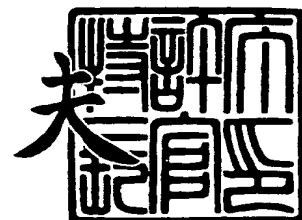
出願人 アイシン精機株式会社
Applicant(s):



2004年 2月24日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2004-3012850



【書類名】 特許願

【整理番号】 P000013910

【提出日】 平成15年 3月28日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 F25B 9/02

【発明の名称】 極低温発生装置

【請求項の数】 14

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県刈谷市朝日町 2 丁目 1 番地 アイシン精機株式会
社内

 【氏名】 朱 紹偉

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県刈谷市朝日町 2 丁目 1 番地 アイシン精機株式会
社内

 【氏名】 河野 新

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県刈谷市朝日町 2 丁目 1 番地 アイシン精機株式会
社内

 【氏名】 井上 龍夫

【特許出願人】

 【識別番号】 0000000011

 【氏名又は名称】 アイシン精機株式会社

 【代表者】 豊田 幹司郎

【代理人】

 【識別番号】 100081776

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 大川 宏

 【電話番号】 (052)583-9720



【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009438

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 極低温発生装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 冷媒を圧送する吐出ポート及び冷媒を吸い込む吸込ポートを有する圧送手段と、被冷却体を冷却する冷却手段と、前記圧送手段の吐出ポートと前記冷却手段とを連通すると共に相対的に高压の冷媒が流れる高压通路と、前記圧送手段の吸込ポートと前記冷却手段とを連通すると共に相対的に低压の冷媒が流れる低压通路と、前記高压通路に直列に並設され前記高压通路を流れる冷媒を熱交換で冷却する 1 又は 2 以上の熱交換器とを具備する極低温発生装置において、

前記熱交換器は、前記冷却手段に流入する前の高压通路の冷媒の圧力を低下させる圧損促進型の熱交換器を含み、

前記圧損促進型の熱交換器に流入する前の冷媒の圧力を P_h とし、前記冷却手段に流入する前の冷媒の圧力を P_c とし、 P_h と P_c との圧力の差を 100% としたとき、前記圧損促進型の熱交換器は、

100% のうちの 5% 以上の比率で冷媒の圧力を低下させつつ、冷媒を冷却させることを特徴とする極低温発生装置。

【請求項 2】 請求項 1 において、前記熱交換器は複数具備されており、前記圧損促進型の熱交換器は、複数個の熱交換器のうち、冷媒の流れにおいて前記冷却手段に最も近い側の熱交換器であることを特徴とする極低温発生装置。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 において、冷媒の圧力 P_h は 0.1 ～ 1000 MPa であり、前記高压通路において前記圧損促進型の熱交換器に流入する前の冷媒の温度を T_h とし、前記冷却手段に流入する前の冷媒の温度を T_c とし、 T_h と T_c との温度の差を 100% としたとき、前記圧損促進型の熱交換器は、100% のうちの 5% 以上の比率で冷媒の温度を低下させることを特徴とする極低温発生装置。

【請求項 4】 請求項 1 ～ 請求項 3 のうちのいずれか一項において、前記圧損促進型の熱交換器は、前記低压通路の冷媒により熱交換で前記高压通路の冷媒を冷却する向流型の熱交換器であることを特徴とする極低温発生装置。

【請求項 5】 請求項 1 ～ 請求項 4 のうちのいずれか一項において、予冷冷凍機

が設けられており、前記高压通路は、前記高压通路の冷媒を前記予冷冷凍機で予冷する予冷部を有することを特徴とする極低温発生装置。

【請求項 6】請求項 5 において、前記予冷冷凍機はパルス管冷凍機、ギフォード・マクマホン冷凍機、ソルベイ冷凍機、ヴィルミエ冷凍機、またはスターリング冷凍機のいずれかであることを特徴とする極低温発生装置。

【請求項 7】請求項 5 または請求項 6 において、前記圧送手段は、圧縮して高压にした冷媒を前記高压通路に冷媒を送給すると共に、前記予冷冷凍機の高压通路に送給することを特徴とする極低温発生装置。

【請求項 8】請求項 1～請求項 7 のうちのいずれか一項において、前記圧損促進型の熱交換器は、前記高压通路に連通すると共に熱交換媒体と熱交換可能な圧損通路を有しており、前記圧損通路の流路径は 0.1～15 ミリメートルに設定されていると共に、前記圧損通路の長さは 0.1～200 メートルに設定されていることを特徴とする極低温発生装置。

【請求項 9】請求項 1～請求項 8 のうちのいずれか一項において、 P_h と P_c との圧力の差を 100% としたとき、前記圧損促進型の熱交換器は 100% のうちの 50% 以上の比率で冷媒の圧力を低下させることを特徴とする極低温発生装置。

【請求項 10】請求項 1～請求項 9 のうちのいずれか一項において、前記圧損促進型の熱交換器は、前記高压通路に連通すると共にスパイラル状に形成され且つ熱交換媒体と熱交換可能な圧損通路を有することを特徴とする極低温発生装置。

【請求項 11】請求項 1～請求項 9 のうちのいずれか一項において、前記圧損促進型の熱交換器は、前記高压通路に連通すると共に熱交換媒体と熱交換可能な圧損通路を有しており、前記圧損通路は、冷媒の流れに対して抵抗となる抵抗体を通路内に配置することにより形成されていることを特徴とする極低温発生装置。

【請求項 12】請求項 1～請求項 9 のうちのいずれか一項において、前記圧損促進型の熱交換器は、高压通路に連通すると共に熱交換媒体と熱交換可能な圧損通路を形成する通路形成部材を有しており、前記通路形成部材間にはスペーサ部

材が設けられており、前記スペーサ部材により熱交換媒体が流れる流路を前記通路形成部材間に形成していることを特徴とする極低温発生装置。

【請求項 13】 請求項 1～請求項 9 のうちのいずれか一項において、前記圧損促進型の熱交換器は、前記高压通路に連通すると共に熱交換媒体と熱交換可能な圧損通路を細孔で形成する多孔質体を有していることを特徴とする極低温発生装置。

【請求項 14】 請求項 1～請求項 9 のうちのいずれか一項において、前記圧損促進型の熱交換器は、前記高压通路に連通すると共に熱交換媒体と熱交換可能な圧損通路を有しており、前記圧損通路は、貫通孔を有する複数の板状部材を並設することにより形成されていることを特徴とする極低温発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は極低温発生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

ジュールトムソン冷凍機を例にとって従来技術について説明する。ジュールトムソン冷凍機は、特許文献 1、特許文献 2 等の開示されており、冷凍能力を得るためにジュールトムソン効果を用いる冷凍機である。ジュールトムソン効果は、高压ガスの圧力が低下すると、その温度が低下するものである。単純なジュールトムソン冷凍機は、高压ガス源、熱交換器、ジュールトムソン弁を含む。高压ガス源の高压のガスは熱交換器に流入し、低压ガスのリターンにより熱交換器において冷却され、ジュールトムソン弁を通して等エンタルピー膨張を生じて低压となり、冷媒の温度が低下する。このとき冷凍能力を得ることができる。

【0003】

一般的には、4 K 程度の冷凍を得る 4 K 冷凍機は、ジュールトムソン回路と呼ばれる単純なジュールトムソン冷凍機と、予冷用の 2 段パルス管冷凍機と、高压ガスを供給するコンプレッサーユニットとを有する。これは、ヘリウムガスにより 4 K 温度を実現するための最も効果的な方法である。4 K 冷凍機的主要用途は

、MRI、SQUID、その他の超伝導装置の冷却用である。

【0004】

ジュールトムソン回路と予冷用 2 段パルス管冷凍機とを有する冷凍機においては、主に三つの部分に分けられる。それは、コンプレッサー部、ジュールトムソン回路、2 段パルス管冷凍機である。

【0005】

【特許文献 1】 特開平 10-26428 号公報

【特許文献 2】 米国特許 USP 4766741

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

産業界では、極低温を得るのに有利な極低温発生装置の開発が更に進められている。

【0007】

本発明は上記した実情に鑑みなされたものであり、極低温を得るのに有利であり、ヘリウム等の冷媒の液化に有利な極低温発生装置を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明者は極低温発生装置について鋭意開発を進めている。そして、冷媒を圧送する吐出ポート及び吸込ポートを有する圧送手段と、被冷却体を冷却する冷却手段と、圧送手段の吐出ポートと冷却手段とを連通すると共に相対的に高圧の冷媒が流れる高圧通路と、圧送手段の吸込ポートと冷却手段とを連通すると共に相対的に低圧の冷媒が流れる低圧通路と、高圧通路に直列に並設され高圧通路を流れる冷媒を熱交換で冷却する 1 又は 2 以上の熱交換器とを具備する極低温発生装置において、熱交換器は、冷却手段に流入する前の高圧通路の冷媒の圧力を低下させる圧損促進型の熱交換器を含む構成とし、

圧損促進型の熱交換器に流入する前の冷媒の圧力を P_h とし、冷却手段に流入する前の冷媒の圧力を P_c とし、 P_h と P_c との圧力の差を 100% としたとき、圧損促進型の熱交換器は、100% のうちの 5% 以上の比率で冷媒の圧力を低下させつつ、冷媒を冷却させることにすれば、冷却手段において極低温を得るの

に有利であることを知見した。本発明は上記した知見に基づいて開発されたものである。

【0009】

従来の極低温発生装置において使用されている熱交換器は、冷媒が流れる際の圧損をできるだけ少なくするように設計されていた。これに対して本発明によれば、冷却手段に近い側の熱交換器として、冷却手段に流入する前の高圧通路の冷媒の圧力を積極的に低下させる機能を有する圧損促進型の熱交換器としており、従来技術とは設計思想を異にするものである。

【0010】

すなわち、本発明に係る極低温発生装置は、冷媒を圧送する吐出ポート及び冷媒を吸い込む吸込ポートを有する圧送手段と、被冷却体を冷却する冷却手段と、圧送手段の吐出ポートと冷却手段とを連通すると共に相対的に高圧の冷媒が流れる高圧通路と、圧送手段の吸込ポートと冷却手段とを連通すると共に相対的に低圧の冷媒が流れる低圧通路と、高圧通路に直列に並設され高圧通路を流れる冷媒を熱交換で冷却する1又は2以上の熱交換器とを具備する極低温発生装置において、

熱交換器は、冷却手段に流入する前の高圧通路の冷媒の圧力を低下させる圧損促進型の熱交換器を含み、

圧損促進型の熱交換器に流入する前の冷媒の圧力を P_h とし、冷却手段に流入する前の冷媒の圧力を P_c とし、 P_h と P_c との圧力の差を100%としたとき、前記圧損促進型の熱交換器は、100%のうちの5%以上の比率で冷媒の圧力を低下させつつ、冷媒を冷却させることを特徴とするものである。

【0011】

本発明に係る極低温発生装置によれば、圧損促進型の熱交換器に流入する前の冷媒の圧力を P_h とし、冷却手段に流入する前の冷媒の圧力を P_c とし、 P_h と P_c との圧力の差を100%としたとき、圧損促進型の熱交換器は、100%のうちの5%以上の比率で冷媒の圧力を低下させつつ、冷媒を冷却させる。これにより冷却手段において極低温を得るのに有利となり、ヘリウム等の冷媒の液化率を高めることができる。

【0012】

【発明の実施の形態】

本発明に係る極低温発生装置によれば、圧損促進型の熱交換器は、冷媒のガスを熱交換で冷却しつつ、そのガス圧力を低下させるものを意味する。前述したように、 P_h と P_c との圧力の差を100%としたとき、圧損促進型の熱交換器は、100%のうちの5%以上の比率で冷媒の圧力を低下させつつ、冷媒を冷却させる。なお、冷媒の圧力を低下させ得る程度は、熱交換器の構造、冷媒の種類（ヘリウム、窒素、ネオン、アルゴン、二酸化炭素、メタン、エタン、プロパン、ブタン、各種フルオロカーボン、水素、酸素等、及びこれらの混合物）、要請される極低温の温度等によっても相違する。

【0013】

この場合、圧損促進型の熱交換器は、上記100%のうちの10%以上の比率、または20%以上の比率、30%以上の比率、または40%以上の比率、または50%以上の比率で冷媒の圧力を低下させることができる。更に、圧損促進型の熱交換器は、上記100%のうちの60%以上の比率、または70%以上の比率、80%以上の比率、または90%以上の比率で冷媒の圧力を低下させることができる。あるいは、圧損促進型の熱交換器は、100%のうちの93%以上または95%以上の比率、更には100%の比率で冷媒の圧力を低下させることにしても良い。なお、100%の比率で冷媒の圧力を低下させるときには、一般的には、圧損促進型の熱交換器の出口で冷媒の液化が生じる。

【0014】

また本発明に係る極低温発生装置によれば、高圧通路において圧損促進型の熱交換器に流入する前の冷媒の温度を T_h とし、冷却手段に流入する前の冷媒の温度を T_c とし、 T_h と T_c との温度の差を100%としたとき、圧損促進型の熱交換器は、冷媒の圧力を低下させつつ、上記100%のうちの5%以上の比率で冷媒の温度を低下させる形態を例示できる。冷媒の温度を低下させ得る程度は、熱交換器の構造、冷媒の種類（ヘリウム、窒素、ネオン、アルゴン、二酸化炭素、メタン、エタン、プロパン、ブタン、各種フルオロカーボン、水素、酸素等、及びこれらの混合物）、要請される極低温の温度等によっても相違する。

【0015】

上記したように圧損促進型の熱交換器において、冷媒の圧力を低下させつつその冷媒を冷却させることにすれば、極低温を得るのに有利となり、ヘリウム等の冷媒の液化率を高めることができる。この場合、圧損促進型の熱交換器は、 T_h と T_c との温度の差を100%としたとき、100%のうちの10%以上の比率、または20%以上の比率、30%以上の比率、または40%以上の比率、または50%以上の比率で冷媒の温度を低下させることができる。更に、圧損促進型の熱交換器は、100%のうちの60%以上の比率、または70%以上の比率、80%以上の比率、または90%以上の比率で冷媒の温度を低下させることができる。あるいは、圧損促進型の熱交換器は、100%のうちの95%以上の比率、100%の比率で冷媒の温度を低下させることにしても良い。

【0016】

本発明に係る極低温発生装置によれば、熱交換器は複数具備されており、圧損促進型の熱交換器は、複数個の熱交換器のうち、冷媒の流れにおいて冷却手段に最も近い側の熱交換器である形態を例示できる。この場合、極低温を得るのに有利となり、ヘリウム等の冷媒の液化率を高めることができる。しかも冷媒を高圧の状態での冷却手段に近い側まで供給できるため、冷媒の流量の確保に有利であり、冷凍能力の発揮に有利となる。

【0017】

また、圧損促進型の熱交換器は、低压通路の冷媒により熱交換で高压通路の冷媒を冷却する形態を例示できる。この場合には、冷凍効率の向上に有利である。

【0018】

本発明に係る極低温発生装置によれば、予冷冷凍機が設けられており、高压通路は、高压通路の冷媒を予冷冷凍機で予冷する予冷部を有する形態を例示できる。これにより冷媒の冷却に有利である。予冷冷凍機としては、パルス管冷凍機、ギフォード・マクマホン冷凍機、ソルベイ冷凍機、ヴィルミエ冷凍機、スターリング冷凍機等を例示できる。

【0019】

本発明に係る極低温発生装置によれば、圧送手段は、高压通路に冷媒を送給す

ると共に予冷冷凍機に冷媒を送給する形態を例示できる。この場合、圧送手段が予冷冷凍機にも共用化されている。

【0020】

本発明に係る極低温発生装置によれば、圧損促進型の熱交換器は、高压通路に連通すると共に熱交換媒体と熱交換可能な圧損通路を有しており、圧損通路の平均流路径は冷凍機の種類によっても相違するが、一般的には0.1～15ミリメートルに設定されている形態を例示できる。この場合、冷媒を冷却しつつ冷媒の圧力を低下させるのに有利である。ここで圧損通路の平均流路径としては0.5～10ミリメートル、1～5ミリメートルを例示できる。一般的には圧損通路の流路径が小さいと、圧損促進型の熱交換器における冷媒の圧損を大きくできるため、圧損通路の長さを短縮できる。圧損通路の流路径の上限としては0.5ミリメートル、0.7ミリメートル、1ミリメートル、2ミリメートル、3ミリメートル、5ミリメートル等を例示できる。

【0021】

本発明に係る極低温発生装置によれば、圧損促進型の熱交換器は、高压通路に連通すると共に熱交換媒体と熱交換可能な圧損通路を有しており、圧損通路の流路径によっても異なるが、一般的には、圧損通路の長さは0.1～200メートルに設定されている形態を例示できる。この場合、冷媒を冷却しつつ冷媒の圧力を低下させるのに有利である。一般的には圧損通路の流路径が小さいと、圧損を大きくできるため、圧損通路の長さを短縮できる。圧損通路の長さの上限としては10メートル、20メートル、50メートル、70メートル、100メートル、150メートルを例示できる。

【0022】

本発明に係る極低温発生装置によれば、圧損促進型の熱交換器は、高压通路に連通すると共にスパイラル状に形成され且つ熱交換媒体と熱交換可能な圧損通路を有する形態を例示できる。この場合、冷媒を冷却しつつ冷媒の圧力を低下させるのに有利である。圧損通路がスパイラル状に形成されているため、圧損促進型の熱交換器の長さの短縮化に有利である。

【0023】

本発明に係る極低温発生装置によれば、圧損促進型の熱交換器は、高压通路に連通すると共に熱交換媒体と熱交換可能な圧損通路を有しており、圧損通路は、冷媒の流れに対して抵抗となる抵抗体を通路内に配置することにより形成されている形態を例示できる。この場合、冷媒を冷却しつつ冷媒の圧力を低下させるのに有利である。

【0024】

本発明に係る極低温発生装置によれば、圧損促進型の熱交換器は、高压通路に連通すると共に熱交換媒体と熱交換可能な圧損通路を形成する通路形成部材を有しており、通路形成部材間にはスペーサ部材が設けられている形態を例示できる。この場合、スペーサ部材により熱交換媒体が流れる流路を通路形成部材間に形成しているスペーサ部材により熱交換媒体が流れる流路が形成されるため、圧損促進型の熱交換器は冷媒を熱交換により冷却させるのに有利となる。

【0025】

本発明に係る極低温発生装置によれば、圧損促進型の熱交換器は、高压通路に連通すると共に熱交換媒体と熱交換可能な圧損通路を細孔で形成する多孔質体を有している形態を例示できる。多孔質体の細孔は、細孔径が小さく、圧損通路を形成するのに有利である。この場合、冷媒を冷却しつつ冷媒の圧力を低下させるのに有利である。

【0026】

本発明に係る極低温発生装置によれば、圧損促進型の熱交換器は、高压通路に連通すると共に熱交換媒体と熱交換可能な圧損通路を有しており、圧損通路は、貫通孔を有する複数個の板状部材を並設することにより形成されている形態を例示できる。貫通孔の径は、圧損通路における冷媒のガスの圧力低下に影響を与える。この場合、冷媒を冷却しつつ冷媒の圧力を低下させるのに有利である。上記した熱交換媒体としては、低压通路を流れる冷媒を例示できるが、他の媒体でも良い。

【0027】

本発明に係る極低温発生装置によれば、冷媒としてはヘリウム、窒素、ネオン、アルゴン、二酸化炭素、メタン、エタン、プロパン、ブタン、各種フルオロカ

ーボン、水素、酸素等、及びこれらの混合物を例示することができる。冷媒がヘリウムの場合には、圧損促進型の熱交換器に流入する前の冷媒の圧力を P_h とし、圧損促進型の熱交換器に流入する前の冷媒の温度を T_h としたときには、圧力 P_h は $0.1 \sim 10 \text{ MPa}$ にすることができ、殊に $0.4 \sim 5 \text{ MPa}$ 、 $1 \sim 3 \text{ MPa}$ にすることができる。また温度 T_h は $2 \sim 30 \text{ K}$ にすることができ、殊に $4 \sim 20 \text{ K}$ 、 $8 \sim 15 \text{ K}$ にすることができる。本発明に係る極低温発生装置によれば、冷媒がヘリウムである場合には、圧送手段の吐出ポートから吐出されるガス状の冷媒の圧力としては、 1.8 MPa 以上、 2.0 MPa 以上、または 2.2 MPa 以上とすることができ、上限としては 10 MPa 以下とすることができ。

【0028】

上記したように予冷冷凍機を用いると共に、圧送手段を本発明に係る極低温冷凍機と予冷冷凍機とで共用し、圧送手段の吐出ポートから吐出された冷媒を、本発明に係る極低温冷凍機の高圧通路及び予冷冷凍機の高圧通路の双方に送給する方式を採用することができる。即ち、圧送手段を本発明に係る極低温発生冷凍機と予冷冷凍機とで共用することができる。このような方式が採用されている場合には、圧送手段の吐出ポートから吐出される冷媒の圧力を、予冷冷凍機における高圧通路の適切な冷媒圧に適合させることが好ましい。従って冷媒がヘリウムであるときには、圧送手段の吐出ポートから吐出される冷媒の高圧ガスの圧力としては $1.0 \sim 5.0 \text{ MPa}$ 、殊に $1.5 \sim 3.0 \text{ MPa}$ とすることができ。なお、圧送手段の吐出ポートから吐出される冷媒の圧力を P_h とみなすことができる。

【0029】

予冷冷凍機がパルス管冷凍機である場合には、圧送手段の吐出ポートから吐出された冷媒を、本発明に係る極低温冷凍機の高圧通路及びパルス管冷凍機の高圧通路の双方に送給する方式を採用することができる。即ち、本発明に係る極低温発生冷凍機の高圧通路とパルス管冷凍機の高圧通路とで圧送手段を共用することができる。このような共用方式が採用されている場合には、圧送手段の吐出ポートから吐出される冷媒の圧力を、パルス管冷凍機における高圧通路の適切な冷媒

圧に適合させることが好ましい。従って圧送手段の吐出ポートから吐出されるガス状の冷媒の圧力としては、 $1.0 \sim 6.0 \text{ MPa}$ 、殊に $1.5 \sim 3.5 \text{ MPa}$ とすることができる。また、冷媒によっては、 P_h は $0.1 \text{ MPa} \sim 1000 \text{ MPa}$ の範囲の値を取り得る場合もある。

【0030】

【実施例】

図1は、極低温発生冷凍機概念図を示す。本実施例に係る極低温発生冷凍機は、ジュールトムソン回路で形成され冷却対象物である被冷却体29を冷却する主冷凍回路1と、主冷凍回路1に対して予冷機能を有する予冷冷凍機として機能するパルス管冷凍機3とを組み合わせたものである。

【0031】

図1に示すように、主冷凍回路1は、冷媒を圧送する圧送手段として機能するコンプレッサー部11と、被冷却体29を冷却させる冷却手段25と、コンプレッサー部11の高圧側の吐出ポートとして機能する高圧ガスポート13と冷却手段25とを連通すると共に相対的に高圧の冷媒のガスが流れる高圧通路1aと、コンプレッサー部11の低圧側の吸込ポートとして機能する低圧ガスポート12と冷却手段25とを連通すると共に相対的に低圧の冷媒のガスが流れる低圧通路1bと、高圧通路1aに直列に並設され高圧通路1aを流れる冷媒のガスを熱交換で冷却する複数個の熱交換器21、22、23とを有する。

【0032】

冷却手段25は、被冷却体29を熱交換により冷却させるものである。冷媒はヘリウムとされている。なお本実施例によれば、冷媒の自然対流による冷凍能力の低下を防止するため、主冷凍回路1において冷却手段25はコンプレッサー部11に対して鉛直下方になるように配置されている。

【0033】

図1に示すように、熱交換器21は、高圧通路1aに連通する高圧ガス通路211と、低圧通路1bに連通するリターン側の低圧ガス通路212とを有する。この熱交換器21は、高圧ガスと低圧ガスとが逆方向に流れる向流型の熱交換器であり、高圧ガス通路211を流れる冷媒と低圧ガス通路212を流れる冷媒と

は互いに熱交換される。この熱交換器 21 によれば、高圧ガス通路 211 を流れる冷媒のガス、低圧ガス通路 212 を流れる冷媒のガスの圧力を積極的に低下させるものではない。

【0034】

また熱交換器 22 は、高圧通路 1a に連通する高圧ガス通路 221 と、低圧通路 1b に連通するリターン側の低圧ガス通路 222 とを有する。この熱交換器 22 は、高圧ガスと低圧ガスとが逆方向に流れる向流型の熱交換器であり、高圧ガス通路 221 を流れる冷媒と低圧ガス通路 222 を流れる冷媒とは互いに熱交換される。この熱交換器 22 によれば、高圧ガス通路 221 を流れる冷媒のガス、低圧ガス通路 222 を流れる冷媒のガスの圧力を積極的に低下させるものではない。

【0035】

本実施例を特徴づける熱交換器 23 は、高圧通路 1a に連通する高圧ガス通路 231 と、低圧通路 1b に連通するリターン側の低圧ガス通路 232 とを有する。この熱交換器 23 は、高圧ガス通路 231 を流れる冷媒のガスの圧力を積極的に低下させる圧損促進型である。この熱交換器 23 は、高圧ガスと低圧ガスとが逆方向に流れる向流型の熱交換器であり、高圧ガス通路 231 を流れる冷媒と低圧ガス通路 232 を流れる冷媒とは互いに熱交換される。この熱交換器 23 によれば、高圧ガス通路 231 を流れる冷媒のガスの圧力を積極的に低下させるものの、低圧ガス通路 232 を流れる冷媒のガスの圧力を積極的に低下させるものではない。

【0036】

図 1 に示すように、高圧通路 1a において、熱交換器 21～23 のうち最も上流側の熱交換器 21 の上流には、冷媒抵抗器として機能できるニードル弁構造の弁 15 が設けられている。また、高圧通路 1a において、熱交換器 21～23 のうち最も下流側の熱交換器 23 の下流と冷却手段 25 の間には、冷媒抵抗器として機能できるジュールトムソン弁 24 が設けられている。

【0037】

このように圧損促進型の熱交換器 23 は、高圧通路 1a 側の最後の熱交換器で

あり、冷却体冷却手段 25 及びジュールトムソン弁 24 に最も近いものである。
なお、弁 15、ジュールトムソン弁 24 は、流路径を小さくした絞り孔を有するものの、流路長は短いものである。

【0038】

図 1 に示すように、コンプレッサー部 11 は冷媒のガスを圧縮する機能をもつものであり、2.4 MPa の冷媒の高圧ガスを吐出する高圧ガスポート 13 と、1 MPa の冷媒の中圧ガスを吸い込む吸込ポートとしての中圧ガスポート 14 と、0.1 MPa の冷媒の低圧ガスを吸い込む低圧ガスポート 12 とを有する。

【0039】

冷媒のガスは、コンプレッサー部 11 の駆動により、高圧ガスポート 13 から主冷凍回路 1 に向けて流出し、分岐点 1s を経て、弁 15、高圧通路 1a の熱交換器 21 の高圧ガス通路 211、熱交換器 22 の高圧ガス通路 221、熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 を順に流れ、更に、ジュールトムソン弁 24 を経て、冷却手段 25 に至り、被冷却体 29 を冷却させる。なお、冷却手段 25 では 4.2 K 程度の冷却能力を実現できる。冷却手段 25 は長い配管をもち、被冷却体 29 を冷却する。被冷却体 29 を冷却した冷媒は、リターンし、低圧通路 1b の熱交換器 23 の低圧ガス通路 232、熱交換器 22 の低圧ガス通路 222、熱交換器 21 の低圧ガス通路 212 を順に流れ、コンプレッサー部 11 の低圧ガスポート 12 に帰還する。

【0040】

パルス管冷凍機 3 は主冷凍回路 1 に対して予冷冷凍機として機能するものであり、温度が 80 K となる相対的に高温側の第 1 コールドヘッド 31 と、温度が 12 K となる相対的に低温側の第 2 コールドヘッド 32 とを有する。パルス管冷凍機 3 は、吐出通路である高圧通路 3a 及び分岐点 1s を経てコンプレッサー部 11 の高圧ガスポート 13 に接続されていると共に、吸込通路である中圧通路 3e を経て中圧ガスポート 4 に接続されている。

【0041】

図 1 に示すように、パルス管冷凍機 3 は、第 1 蓄冷器 33、第 1 パルス管 34、第 2 蓄冷器 35、第 2 パルス管 36、弁やバッファやその他を含む室温領域の

ユニット 37 とをもつ。コンプレッサ部 11 の駆動により、ガス状の冷媒は、コンプレッサ部 11 の高圧ガスポート 13 から分岐点 1s を経てパルス管冷凍機 3 に向けて送給され、中圧ガスポート 14 に帰還する。この結果、パルス管冷凍機 3 は、第 1 コールドヘッド 31 および第 2 コールドヘッド 32 において冷却能力を生じる。第 1 ステージである第 1 コールドヘッド 31 は、ジュールトムソン回路である主冷凍回路 1 の第 1 予冷部 1e を予冷するためのものである。第 2 ステージである第 2 コールドヘッド 32 の冷却能力は、ジュールトムソン回路である主冷凍回路 1 の第 2 予冷部 1f を予冷する。なお、冷媒の自然対流による冷凍能力の低下を防止するために、パルス管冷凍機 3 において第 2 コールドヘッド 32 及び第 1 コールドヘッド 31 はユニット 37 に対して鉛直下方になるように配置されている。

【0042】

更に説明を加えると、図 1 において、コンプレッサ部 11 の高圧ガスポート 13 から吐出された高圧通路 1a を流れる冷媒の高圧ガスは、熱交換器 21 の高圧ガス通路 211 を通過し、第 1 コールドヘッド部 31 で予冷されている第 1 予冷部 1e を通過し、80 K 程度の温度まで冷却される。更に、高圧通路 1a を流れる高圧ガスは、熱交換器 22 の高圧ガス通路 221 を通過し、第 2 コールドヘッド 32 で予冷されている第 2 予冷部 1f を通過し、12 K 以上の温度まで冷却される。このようにして高圧通路 1a を流れる冷媒のガスは、第 2 予冷部 1f により 12 K の温度近くまで冷却された状態で、冷却手段 25 に最も近い側の最後の熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 に流入し、更に、熱交換器 23 のリターン側である低圧ガス通路 232 を流れる冷媒のガスにより 5 K 付近に冷却される。

【0043】

更に、熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 を吐出した冷媒のガスは、ジュールトムソン弁 24 を通過し、ジュールトムソン弁 24 により、ヘリウムを液化する圧力 (0.1 MPa) まで減圧される。この結果、冷媒の液化が進行し、液体ヘリウムが生成される。

【0044】

本実施例によれば、複数個の熱交換器 21、22、23 のうち、冷却手段であ

る冷却手段 25 に最も近い側の熱交換器 23 を、圧損促進型の熱交換器としている。以下に、圧損促進型の熱交換器 23 の代表的な作動形態を示す。熱交換器 23 は冷媒の流量が 1 g/s の条件付近において良好に機能するように設定されている。前記したように最後の熱交換器 23 は、高圧ガス通路 231 とリターン側の低圧ガス通路 232 をもつ。熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 に流入する前の冷媒のガスの圧力は約 2.4 MPa である。冷媒のガスが熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 に流入する前に、パルス管冷凍機 3 の第 2 コールドヘッド 32、第 2 予冷部 1f によって約 12 K まで冷却される。本実施例によれば、冷媒の液化は約 0.1 MPa (ゲージ圧で 0 気圧) で行われる。なお、 0.1 MPa とした理由は、配管における外気進入の防止を考慮して、大気圧と相応させるためである。このため本実施例によれば、低圧ガス通路 232 に流入する前の冷媒の圧力は約 0.1 MPa である。 0.1 MPa におけるヘリウムの沸点は、 4.21 K である。

【0045】

熱交換器 23 のうち低温端側をコールドエンドという。熱交換器 23 のうち高温端側をホットエンドという。本実施例によれば、熱交換器 23 において低圧ガスの寒冷が高圧ガスの冷却に有効に利用されるため、熱交換器 23 のうちホットエンドにおける高圧ガス通路 231 と低圧ガス通路 232 との温度差を、約 0.2 K にでき、大変優れた熱交換器 23 を使用することができる。

【0046】

ジュールトムソン弁 24 は流路徑は非常に小さく、冷凍物等の固体不純物によって塞がれ易い性質をもつ。本実施例によれば、ジュールトムソン弁 24 は単なる最後の調整のために用いられている。すなわち、ジュールトムソン弁 24 は冷媒のガスの圧力降下の最後の調整のために有用である。もし、圧損促進型の熱交換器 23 によって冷媒のガスの圧力の大きな低下が得られる場合には、後述する他の実施例のように、ジュールトムソン弁 24 を廃止することもできる。故に、圧損促進型の熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 における圧力降下をできるだけ大きくすることがより望ましい。熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 が冷媒の圧力を十分に低下させることができるときには、ジュールトムソン弁 24 の流路徑

を増加させることにより、ジュールトムソン弁 24 における圧力降下の役割を大幅に減少させることができ、ジュールトムソン弁 24 の流路が固体不純物によって塞がれる不具合を抑制できる。

【0047】

前記したようにジュールトムソン弁 24 の流路は、固体不純物によって流路が塞がれるように、非常に小さいものである。本実施例に係る熱交換器 23 は圧損促進型であるといえども、高圧ガス通路 231 の流路は、ジュールトムソン弁 24 の流路よりもかなり大きい。このため熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 の流路が固体不純物により塞がれる可能性は、大幅に減少する。

【0048】

本実施例によれば、熱交換器 23 においては、高圧ガス通路 231 のうちジュールトムソン弁 24 に近い下流部分（圧損通路）は、高い圧力降下を発生できるように小さい流路をもつ長細い管で形成することができる。従って、熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 のうち下流部分は、非常に小さい圧力降下を実現できるように、小さい流路を有する。なお本実施例によれば、高圧ガス通路 231 のうち上流部分の内径は 3 ミリメートルであり、高圧ガス通路 231 のうち下流部分の内径は上流部分の内径よりも小さく設定されており、1 ミリメートルである。

【0049】

流量が 1 g/s の条件で作動する熱交換器 23 の例について説明を更に加える。本実施例によれば、熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 に流入する前の冷媒のガスの圧力は、約 2.4 MPa である。熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 に流入する前に、冷媒は、パルス管冷凍機 3 の第 2 コールドヘッド 32 によって約 12 K に冷却されている。熱交換器 23 の低圧ガス通路 232 の冷媒は低圧であり、約 0.1 MPa である。0.1 MPa におけるヘリウムガスの沸点（液化温度）は 4.21 K である。

【0050】

図 2 は代表例を示す。図 2 の特性線 W は、本実施例に係る圧損促進型の熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 における冷媒のガスの圧力変化を示す。図 2 の横軸

は、熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 における相対位置を示す。図 2 の縦軸は、熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 における冷媒の圧力を示す。

【0051】

また図 3 の特性線 X1 は、圧損促進型の熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 における冷媒の高圧ガスの温度変化を示す。図 3 の特性線 X2 は、圧損促進型の熱交換器 23 の低圧ガス通路 232 における冷媒の低圧ガスの温度変化を示す。図 3 の横軸は、圧損促進型の熱交換器 23 の高圧ガス通路 231、低圧ガス通路 232 における相対位置を示す。図 3 の縦軸は、圧損促進型の熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 及び低圧ガス通路 232 における冷媒の温度を示す。

【0052】

本実施例によれば、図 2 の矢印 W1 に示すように、熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 のうちの相対的に高温側の上流部分では、冷媒のガスの圧力はほとんど低下しない。しかし図 2 の途中部位 W3 以降の領域 W2 に示すように、熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 の領域 W2 において、熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 のうちの下流に進行するにつれて、冷媒の圧力を連続的に次第に低下させている。この結果、熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 を吐出した冷媒の圧力は、図 2 の特性線 W の右端 W4 に示すように、約 0.27 MPa となる。

【0053】

すなわち、熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 において冷媒のガスの圧力は、約 2.4 MPa から約 0.27 MPa に低下しており、熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 において冷媒のガスの圧力は、約 2.4 MPa から約 0.27 MPa に低下している。つまり圧損促進型の熱交換器 23 における圧力低下は 2.13 MPa である ($2.13 \text{ MPa} = 2.4 \text{ MPa} - 0.27 \text{ MPa}$)。

【0054】

ここで、圧損促進型の熱交換器 24 に流入する前の冷媒の圧力を P_h ($P_h =$ 約 2.4 MPa) とし、冷却手段 25 に流入する前の冷媒の圧力を P_c ($P_c =$ 約 0.1 MPa) とすると、 P_h と P_c との圧力の差 ΔP は 2.3 MPa ($2.3 \text{ MPa} = 2.4 \text{ MPa} - 0.1 \text{ MPa}$) である。そして ΔP を 100% としたときには、圧損促進型の熱交換器 23 は、100% のうちの約 93% の比率で冷

媒の圧力を低下させている ($2.13 \text{ MPa} / 2.3 \text{ MPa} \times 100\% \div 93\%$)。

【0055】

更に説明を加える。図2は、上記したように熱交換器23の高圧ガス通路231においては、冷媒のガスの圧力は $2 \text{ MPa} \sim 2.3 \text{ MPa}$ 程度低下することを示している。図2に示すように、途中部位W3からの圧力降下はほとんど線形とすることができる。

【0056】

図3は、前述したように、熱交換器23の高圧ガス通路231を流れる高圧ガスと、熱交換器23の低圧ガス通路232を流れる低圧ガスとの温度分布を示す。図3に示すように、高圧ガス通路231を流れる高圧ガスについては、圧力が減少するために、温度7 Kあたりにおいて、冷媒の温度が増加していることがわかる。これは熱移動のためには非常によいと考えられる。

【0057】

図3の特性線X1、X2に示すように、熱交換器23の高圧ガス通路231において冷媒のガスの温度は、約12 Kから5 Kに低下している。つまり熱交換器23における温度低下は約7 Kである。

【0058】

ここで、圧損促進型の熱交換器24に流入する前の冷媒の温度を T_h ($T_h =$ 約12 K) とし、冷却手段に流入する前の冷媒の温度を T_c ($T_c = 4.2 \text{ K}$) とすると、 T_h と T_c との温度の差 ΔT は7.8 K ($7.8 \text{ K} = 12 \text{ K} - 4.2 \text{ K}$) である。そして ΔT を100%としたときには、圧損促進型の熱交換器23は、100%のうちの90%の比率で冷媒の温度を低下させている ($7 \text{ K} / 7.8 \text{ K} \times 100\% \div 90\%$)。

【0059】

更に図4を参照して説明を加える。図4は、冷媒（ヘリウム）に関する温度－エントロピー相図を示す。図4に示す山形状をなす特性線 a10-c.p.-a11 は、冷媒（ヘリウム）の液相及び気相が共存する共存領域の相境界線を示す。図4に示す特性線 a9-a8-a5 は、 0.1 MPa の圧力における2相線を示す

。2相線においては、Lは冷媒の液相の割合を示し、Gは冷媒の気相の割合を示す。特性線 $a1 - a2 - a7$ は等圧線を意味する。特性線 $a5 - a5' - a6$ は等圧線を意味する。

【0060】

本実施例によれば、冷媒の高圧ガスは、熱交換器23の高圧ガス通路231において、ほとんど一定の圧力 2.4 MPa のまま、 $a1$ 点から $a2$ 点まで等圧状態で冷却される。従って、 $a2$ 点は、熱交換器23の高圧ガス通路231における圧力低下開始点を意味する。 $a2$ 点以降においては、熱交換器23の高圧ガス通路231の冷媒の圧力は連続的に 0.27 MPa まで低下する（図2参照）。このため $a2$ 点（冷媒の圧力： 2.4 MPa ）から $a3$ 点（冷媒の圧力： 0.27 MPa ）に至る。 $a3$ 点は、熱交換器23の高圧ガス通路231の出口に相当する。

【0061】

更に図4において、冷媒のガスは、 $a3$ 点から $a4$ 点に至る。 $a4$ 点における圧力が 0.1 MPa となるように、冷媒のガスは圧力を減少させながらジュールトムソン弁24を通過する。 $a4$ 点では、冷媒は液化され、冷媒は液体ヘリウムとヘリウムガスとの共存領域となる。この場合、 $a4$ 点～ $a9$ 点が冷媒の気相の割合に相当し、 $a4$ 点～ $a5$ 点が冷媒の液相の割合に相当するため、重量比でヘリウムガスの割合は約20%、液体ヘリウムの割合は約80%と考えられる。このように本実施例によれば、冷媒である液体ヘリウムの割合が多くなるため、冷却手段25の冷却能力を向上させることができる。本実施例の場合の冷凍能力は 17.6 W である。

【0062】

そして、冷却手段25における液体ヘリウムは、被冷却体の熱を吸収しつつ、 $a4$ 点から $a5$ 点に至る。 $a5$ 点では、冷媒であるヘリウムはすべてガスとなる。最終的に 0.1 MPa のまま、 $a5 - a6$ 線を通り、 12 K 近くまで温度が上昇する。

【0063】

比較例として、熱交換器23の高圧ガス通路231においては圧力降下がない

場合（図2において特性線WA相当）を示す。この比較例では、図4において冷媒の高圧ガスはほとんど圧力降下のないまま、a1点からa2点を経て、温度約4.4 Kのa7点まで冷却される。ジュールトムソン弁24によりa7-a8線に沿って圧力が減少される。a8点において、冷媒は、0.1 MPaのヘリウムガスと液体ヘリウムとの共存領域となる。この場合、a8点～a9点が冷媒の気相の割合に相当し、a8点～a5点が冷媒の液相の割合に相当するため、重量比で、ヘリウムガスの割合は60%、液体ヘリウムの割合は40%と考えられる。このように比較例では液体ヘリウムの割合は少ない。比較例においても実施例と同様に、被冷却体29から液体ヘリウムは熱を吸収し、冷却手段25において、a5-a6線に沿って、10 K以上まで冷媒の温度が上昇する。

【0064】

上記した記載は、本実施例の作動メカニズムの説明の一例である。

【0065】

また上記した実施例によれば、熱交換器23の高圧ガス通路231に流入する前のヘリウムガスの圧力（熱交換器23の高圧ガス通路231のホットエンドの冷媒の圧力）は2.4 MPaとされているが、これに限定されるものではなく、例えば、1.6 MPa、3.0 MPaとすることができる。また、熱交換器23の高圧ガス通路231から吐出した冷媒の圧力（熱交換器23の高圧ガス通路231のコールドエンドの冷媒の圧力）は0.27 MPaにされているが、これに限定されるものではなく、例えば、0.1 MPa、0.8 MPaとすることができる。なお本実施例によれば、熱交換器23の高圧ガス通路231のコールドエンド（図2の矢印W4で示す部位）において、冷媒の高圧ガスの圧力は0.85 MPa以下とするのがよい。熱交換器23において、低圧ガスの寒冷を高圧ガスの冷却に有効に利用するためである。

【0066】

熱交換器23の高圧ガス通路231における圧力降下は、2 MPa以上に限定されるものではない。もし、熱交換器23の高圧ガス通路231における圧力降下が小さければ、ジュールトムソン弁25での圧力降下を大きくする必要があり、ジュールトムソン弁25の流路径を小さくする必要がある。

【0067】

また上記した実施例によれば、熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 に流入する前のヘリウムガスの温度（熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 のホットエンドの冷媒の温度）は 12 K とされているが、これに限定されるものではなく、例えば、8 K、16 K とすることができる。熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 から吐出した冷媒の温度（熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 のコールドエンドの圧力）は 4.21 K とされているが、これに限定されるものではなく、例えば、2.5 K、4.5 K とすることができる。なお熱交換器 23 のホットエンドにおいて、高圧ガス通路 231 と低圧ガス通路 232 と温度差が 0.2 K よりも高くなると、冷却能力は減少してしまうおそれがある。

【0068】

なお本実施例によれば、 P_h と P_c との圧力の差 ΔP は 2.3 MPa であり、そして ΔP を 100% としたときには、圧損促進型の熱交換器 23 は、100% のうちの約 93% の比率で冷媒の圧力を低下させているが、これに限らず、80% 以上の比率、60% 以上の比率、40% 以上の比率で冷媒の圧力を低下させることにしても良い。

【0069】

本実施例に係る圧損促進型の熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 における冷媒のガスの圧力変化は、前述したように、図 2 の特性線 W に示す形態であるが、これに限らず、図 2 の特性線 W6 に示す形態のように、熱交換器 23 の高圧ガス通路 231 のホットエンドからコールドエンドにかけて冷媒の圧力を連続的に低下させることにして良い。

【0070】

ところで、ジュールトムソン弁 24 を有するジュールトムソン回路で形成された主冷凍回路 1 では、冷媒の高圧側のガスの圧力は 1.2 ~ 1.7 MPa 程度が好ましい。これに対してパルス管冷凍機 3 における冷媒の高圧側のガスの圧力は、主冷凍回路 1 における冷媒の高圧側のガスの圧力よりも高く、2.0 ~ 3.0 MPa 程度が好ましい。更に本実施例によれば、図 1 に示すように、コンプレッサ部 11 を主冷凍回路 1 及び予冷冷凍機であるパルス管冷凍機 3 とで共用し、

コンプレッサー部 11 の高圧ガスポート 13 から吐出された冷媒を、主冷凍回路 1 機の高圧通路 1 a 及びパルス管冷凍機 3 の高圧通路 3 a の双方に送給する方式を採用している。

【0071】

このような共用方式が採用されている場合には、コンプレッサー部 11 の高圧ガスポート 13 から吐出される冷媒の圧力を、パルス管冷凍機 3 における高圧通路 3 a の適切な冷媒圧に適合させることが好ましい。このため、コンプレッサー部 11 の高圧ガスポート 13 から吐出されるガス状の冷媒の圧力を 2 MPa 以上 (2.4 MPa) に設定している。しかしパルス管冷凍機 3 に適合する冷媒のガスの高圧側の圧力は、ジュールトムソン回路で形成された主冷凍回路 1 としては高過ぎる。このようにコンプレッサー部 11 の高圧ガスポート 13 から吐出されるガス状の冷媒の圧力を 2 MPa 以上と高めに設定しているため、圧損促進型の熱交換器 23 で冷媒のガスの圧力を大きく低下させるのに都合が良い。

【0072】

(圧損促進型の熱交換器 23 の形態例)

以下、上記した圧損促進型の熱交換器 23 の形態例について、図 5～図 15 を参照して説明を加える。図 5～図 15 に示す熱交換器は、図 2 において冷媒のガスの圧力を低下させる領域 W2 の熱交換器部分を示すものである。

【0073】

(形態例 1)

図 5 に示す圧損促進型の熱交換器 23 C は、高圧通路 1 a に連通する圧損通路 100 C を有する相対的に小径の金属製の第 1 パイプ 201 を、相対的に大径の金属製の第 2 パイプ 202 に挿し、そして、第 2 パイプ 202 を第 1 パイプ 201 と共にスパイラル状に巻回することにより形成されている。圧損通路 100 C は、前記した高圧ガス通路 231 に相当する。

【0074】

第 1 パイプ 201 の内径である圧損通路 100 C の流路径は、例えば 0.1～1.5 ミリメートルにでき、殊に 0.1～5 ミリメートル、0.2～2 ミリメートルに設定することができる。第 1 パイプ 201 の内径にもよるが、圧損通路 10

0の長さは0.1～200メートル、殊に0.2～20メートル、0.2～2メートルに設定することができる。

【0075】

第1パイプ201と第2パイプ202との隙間は、低压通路1bに連通する低压ガス通路232とされている。圧損通路100Cは高压ガス入口103及び高压ガス出口104をもつ。低压ガス通路232は低压ガス入口233及び低压ガス出口234をもつ。圧損通路100を流れる高压ガスは、冷却手段25から帰還すると共に低温の低压ガス通路232を流れる冷媒の低压ガス（熱交換媒体）と熱交換して冷却される。この熱交換器23Cによれば、圧損通路100Cを流れる冷媒の圧力をかなり低下させつつ、圧損通路100Cを流れる冷媒を冷却することができる。しかも熱交換器23Cはスパイラル構造であるため、熱交換器23Cの軸長の短縮化に貢献できる。

【0076】

（形態例2）

図6、図7に示す圧損促進型の熱交換器23Dは、高压通路1aに連通する圧損通路100Dを有するパイプをスパイラル状に多重に巻回して形成されたスパイラル管204Dと、スパイラル管204Dを収容する低压ガス通路232Dをもつ基体236Dとで形成されている。圧損通路100Dは高压ガス入口103及び高压ガス出口104をもつ。基体236Dは、冷却手段25から帰還した低温の低压ガスが流入する低压ガス入口233及び低压ガス出口234をもつ。

【0077】

図7（A）に示すように、スパイラル管204Dの内側の高压ガス入口103から圧損通路100Dに流入したガスは、スパイラル管204Dの中心側から外周側に向けて矢印R1方向に流れる。

【0078】

更に、図7（B）に示すように、冷媒は、スパイラル管204Dの外側の高压ガス入口103から圧損通路100Dに流入し、スパイラル管204Dの外周側から中心側に向けて矢印R2方向に流れる。更に図7（C）に示すように、冷媒



は、スパイラル管 204D の内側の高圧ガス入口 103 から圧損通路 100D に流入し、スパイラル管 204D の中心側から外周側に向けて矢印 R3 方向に流れる。

【0079】

このように各スパイラル管 204D を中心から外周側に流れるスパイラル流路と、各スパイラル管 204D を外周側から中心側に流れるスパイラル流路とを交互に繰り返すことにより、基体 236D の長さ L を抑制しつつ圧損通路 100D の流路長さを増加させることができる。圧損通路 100D の流路径は 0.1 ～ 5 ミリメートル、長さは 1 ～ 200 メートルに設定することができる。

【0080】

圧損通路 100D を流れる高圧ガスは、冷却手段 25 から帰還した低温の低圧ガス通路 232D を流れる低圧ガス（熱交換媒体）と熱交換して冷却される。

【0081】

図 6 に示すように、積層方向に隣設するスパイラル管 204D 間には、低圧ガスが流れる流路 205 が形成されており、熱交換性を高めている。

【0082】

この熱交換器 23D によれば、圧損通路 100D を流れる冷媒の圧力をかなり低下させつつ、圧損通路 100D を流れる冷媒を冷却することができ、本発明で利用できる圧損促進型の熱交換器を提供することができる。

【0083】

更に図 8 に示すように、スパイラル管 204D を形成するパイプの外周面に、細径のワイヤー状のスペーサ部材 206 を巻回しておくこともできる。この場合、スペーサ部材 206 が設けられているため、積層方向に隣設するスパイラル管 204 間には、低圧ガスが流れる流路 205 が形成され易くなり、熱交換性を更に高めることができる。スペーサ部材 206 としては熱伝導性が良好な銅等の金属で形成することが好ましい。なお、スペーサ部材 206 として、スパイラル管 204 の外周面に突起を形成しても良い。

【0084】

（形態例 3）

図9に示す熱交換器23Eは、高圧通路1aに連通する圧損通路100Eを有するパイプをスパイラル状に多重に連続的に巻回して形成されたスパイラル管204Eと、スパイラル管204E間に介在する熱伝導性が良好な銅等の金属で形成された網状部材211と、スパイラル管204E及び網状部材211Eとを収容する低圧ガス通路232Eをもつ基体236Eとで形成されている。低圧ガス通路232Eは、冷却手段25から帰還した低温の低圧ガスが流れる。圧損通路100Eの流路径は例えば0.1～5ミリメートル、長さは1～200メートル、殊に5～100メートル、5～50メートルに設定することができる。

【0085】

圧損通路100Eは高圧ガス入口103及び高圧ガス出口104をもつ。基体236Eは、冷却手段25から帰還した低温の低圧ガスが流入する低圧ガス入口233及び低圧ガス出口234をもつ。

【0086】

スパイラル管204Eの高圧ガス入口103から圧損通路100Eに流入したガスは、高圧ガス出口104から吐出される。このとき、圧損通路100Eに流入した高圧ガスは、低圧ガス通路232Eを流れる低温の低圧ガスにより熱交換されて冷却される。積層方向に隣設するスパイラル管204間には、網状部材211Eにより低圧ガスが流れる流路207が形成されており、しかも網状部材211Eは銅等の熱伝導性が良好な金属で形成されていると共に、網目にガスが通るため、熱交換性を高めている。

【0087】

この熱交換器23Eによれば、圧損通路100Eを流れる冷媒の圧力をかなり低下させつつ、圧損通路100Eを流れる冷媒を冷却することができ、本発明で利用できる圧損促進型の熱交換器を提供することができる。

【0088】

(形態例4)

図10に示す熱交換器23Fは、高圧通路1aに連通する圧損通路100Fを有するパイプをスパイラル状に多重に連続的に巻回して形成されたスパイラル管204Fと、スパイラル管204Fを収容する低圧ガス通路232Fをもつ基体

236Fとで形成されている。スパイラル管204Fを形成するパイプの外周面には熱交換促進用のフィン208が設けられている。フィン208は熱伝導性が良好な銅等の金属で形成されている。抵抗体209を上記パイプ内に多数詰めることにより、圧損通路100Fは多孔質状に形成されている。抵抗体209は、冷媒のガスの流れに対して抵抗性を有すると共に熱伝導性が良好な銅等の金属で形成されている。抵抗体209としては球状物等を例示できる。抵抗体209のサイズを変更すれば、圧損通路100Fの圧損程度を調整できる。圧損通路100Fの流路径は0.01～3ミリメートル、その長さは0.1～200メートルに設定することができる。

【0089】

冷却手段25から帰還した低温の低压ガスが基体236Fの低压ガス通路232Fを流れる。このとき圧損通路100Fを流れる高压のガスは、低压ガス通路232Fの低温の低压ガスにより熱交換されて冷却される。

【0090】

更に図10に示すように、パイプに形成された熱交換促進用のフィン208により熱交換性が一層促進されている。抵抗体209としては球状物等が熱伝導性の良好な銅等の金属で形成されていれば、圧損通路100Fの圧損を大きくすると共に熱交換性を高めることができる。

【0091】

この熱交換器23Fによれば、圧損通路100Fを流れる冷媒の圧力をかなり低下させつつ、圧損通路100Fを流れる冷媒を冷却することができ、本発明で利用できる圧損促進型の熱交換器を提供することができる。

【0092】

(形態例5)

図11に示す圧損促進型の熱交換器23Gは、外筒状の基体236Gと、基体236G内に配設された内側部材としての内筒237Gと、内筒237G内に配置された円柱形状の通路形成部材235Gと、基体236Gと内筒237Gとの間に配設された低压ガス通路232G内に配設された熱伝導促進部材238Gとで形成されている。熱伝導促進部材238Gは、熱伝導性が良好な銅等の金属で

形成されており、流路を形成するように網状とされている。内筒 237 G の内周面と通路形成部材 235 G の外周面とで、リング形状の圧損通路 100 G が形成されている。圧損通路 100 G は、通路形成部材 235 G に形成された高压ガス入口 103 及び高压ガス出口 104 をもつ。基体 236 G は低压ガス入口 233 及び低压ガス出口 234 をもつ。

【0093】

圧損通路 100 G の高压ガス入口 103 から圧損通路 100 G に流入した高压ガスは、高压ガス出口 104 から吐出される。冷却手段 25 から帰還した低温の低压ガスは、低压ガス入口 233 から低压ガス通路 232 G に流れ、低压ガス出口 234 から吐出される。このとき、圧損通路 100 G に流入した高压ガスは、低压ガス通路 232 G を流れる低温の低压ガスにより熱交換されて冷却される。熱伝導促進部材 238 G により熱交換性が更に促進されている。この熱交換器 23 G によれば、圧損通路 100 G を流れる冷媒の圧力をかなり低下させつつ、圧損通路 100 G を流れる冷媒を冷却することができ、本発明で利用できる圧損促進型の熱交換器を提供することができる。

【0094】

(形態例 6)

図 12 に示す圧損促進型の熱交換器 23 H は、外筒状の基体 236 H と、基体 236 H 内に配設された内筒 237 H と、内筒 237 H 内に配置された円柱形状の通路形成部材 235 H と、基体 236 H と内筒 237 H との間に配設された低压ガス通路 232 H 内に配設された熱伝導促進部材 238 H とで形成されている。熱伝導促進部材 238 H は、熱伝導性が良好な銅等の金属で形成され、且つ、流路を形成するように網状とされている。

【0095】

通路形成部材 235 H の外周面には、スパイラル溝状の圧損通路 100 H が連続的に形成されている。圧損通路 100 H は、通路形成部材 235 H に形成された高压ガス入口 103 及び高压ガス出口 104 をもつ。基体 236 H は低压ガス通路 232 H に連通する低压ガス入口 233 及び低压ガス出口 234 をもつ。

【0096】

圧損通路 100H の高圧ガス入口 103 から圧損通路 100H に流入した高圧ガスは、高圧ガス出口 104 から吐出される。冷却手段 25 から帰還した低温の低圧ガスは、低圧ガス入口 233 から低圧ガス通路 232H に流れ、低圧ガス出口 234 から吐出される。このとき、圧損通路 100H に流入した高圧ガスは、低圧ガス通路 232H を流れる低温の低圧ガスにより熱交換されて冷却される。熱伝導促進部材 238H により熱交換性が一層促進されている。この熱交換器 23H によれば、圧損通路 100H を流れる冷媒の圧力をかなり低下させつつ、圧損通路 100H を流れる冷媒を冷却することができ、本発明で利用できる圧損促進型の熱交換器を提供することができる。

【0097】

(形態例 7)

図 13 に示す圧損促進型の熱交換器 23K は、外筒状の基体 236K と、基体 236K 内に配設された内側部材としての内筒 237K と、内筒 237K 内に配置され圧損通路 100K を細孔で形成する多孔質体 239K と、基体 236K と内筒 237K との間に配設された低圧ガス通路 232K 内に配設された熱伝導促進部材 238K とで形成されている。熱伝導促進部材 238K は、熱伝導性が良好な銅等の金属で形成されており、且つ、流路を形成するように網状とされている。ここで図 13 に示す K は符号を意味する。

【0098】

多孔質体 239K は、間隔を隔てて積層された状態で複数個直列に配置されている。積層方向において隣設する多孔質体 239K 間には、熱伝導促進部材 238K が配置されている。この熱伝導促進部材 238K は、熱伝導性が良好な銅等の金属で形成され、且つ、流路を形成するように網状とされている。

【0099】

高圧ガス入口 103 から圧損通路 100K に流入した高圧ガスは、高圧ガス出口 104 から吐出される。冷却手段 25 から帰還した低温の低圧ガスは、低圧ガス入口 233 から低圧ガス通路 232K に流れ、低圧ガス出口 234 から吐出される。このとき、圧損通路 100K に流入した高圧ガスは、低圧ガス通路 232K を流れる低温の低圧ガスにより熱交換されて冷却される。熱伝導促進部材 23



8により熱交換性が一層促進されている。この熱交換器23Kによれば、圧損通路100Kを流れる冷媒の圧力をかなり低下させつつ、圧損通路100Kを流れる冷媒を冷却することができ、本発明で利用できる圧損促進型の熱交換器を提供することができる。

【0100】

(形態例8)

図14に示す圧損促進型の熱交換器23Mは、外筒状の基体236Mと、基体236M内に配設された内筒237Mと、圧損通路100Mを形成する径小の貫通孔を有する複数個の板状部材240Mと、基体236Mと内筒237Mとの間に配設された低压ガス通路232M内に配設された熱伝導促進部材238Mとで形成されている。熱伝導促進部材238Mは、熱伝導性が良好な銅等の金属で形成され、且つ、流路を形成するように網状とされている。

【0101】

板状部材240Mは、間隔を隔てて並設された状態で内筒237M内に複数個直列に配置されている。並設方向において隣設する板状部材240M間には、熱伝導促進部材238Mが配置されている。この熱伝導促進部材238Mは熱伝導性が良好な銅等の金属で形成されており、且つ、流路を形成するように網状とされている。

【0102】

高压ガス入口103から圧損通路100Mに流入した高压ガスは、高压ガス出口104から吐出される。冷却手段25から帰還した低温の低压ガスは、低压ガス入口233から低压ガス通路232Mに流れ、低压ガス出口234から吐出される。このとき、圧損通路100Mに流入した高压ガスは、低压ガス通路232Mを流れる低压ガスにより熱交換されて冷却される。熱伝導促進部材238Mにより熱交換性が促進されている。この熱交換器23Mによれば、圧損通路100Mを流れる冷媒の圧力をかなり低下させつつ、圧損通路100Mを流れる冷媒を冷却することができ、本発明で利用できる圧損促進型の熱交換器を提供することができる。

【0103】



(形態例 9)

図 15 に示す圧損促進型の熱交換器 23N は、外筒状の基体 236N と、基体 236N 内に配設された内筒 237N と、内筒 237N 内に複数枚積層されて配置され圧損通路 100N を形成する径小の貫通孔を有する複数の板状部材 240N と、基体 236N と内筒 237N との間に配設された低圧ガス通路 232N 内に配設された熱伝導促進部材 238N とで形成されている。熱伝導促進部材 238N は熱伝導性が良好な銅等の金属で形成された網状とされている。板状部材 240N は、間隔を隔てて積層された状態で内筒 237N 内に複数個直列に配置されている。積層方向において隣設する板状部材 240N 間には、スペーサ部材 206N が配置されている。このスペーサ 206N は熱伝導性が良好な銅等の金属で形成することができる。

【0104】

高圧ガス入口 103 から圧損通路 100N に流入した高圧ガスは、高圧ガス出口 104 から吐出される。このとき、圧損通路 100N に流入した高圧ガスは、低圧ガス通路 232N を流れる低圧ガスにより熱交換されて冷却される。熱伝導促進部材 238N により熱交換性が促進されている。この熱交換器 23N によれば、圧損通路 100N を流れる冷媒の圧力をかなり低下させつつ、圧損通路 100N を流れる冷媒を冷却することができ、本発明で利用できる圧損促進型の熱交換器を提供することができる。

【0105】

なお、図 11 ～ 図 15 の熱交換器の形態例において、外筒状の基体の内径は 20 ～ 200 ミリメートルにでき、内管の内径は 10 ～ 100 ミリメートルとすることができる。

【0106】

(他の実施例)

第 2 実施例～第 4 実施例を図 16 ～ 図 18 を参照して示す。第 2 実施例～第 4 実施例は第 1 実施例と同様の構成であり、第 1 実施例と同様の作用効果を奏する。第 2 実施例～第 4 実施例においても、圧損促進型の熱交換器 23 に流入する前の冷媒の圧力を P_h とし、冷却手段に流入する前の冷媒の圧力を P_c とし、 P_h

と P_c との圧力の差を 100% としたとき、圧損促進型の熱交換器 23 は、100% のうちの 5% 以上の比率で冷媒の圧力を低下させつつ、冷媒を冷却させる。

【0107】

図 16 は第 2 実施例を示す。第 2 実施例によれば、第 1 実施例で用いられていた低温側のジュールトムソン弁 24 が廃止されているものの、常温領域に配置されている弁 15 が設けられている。高温側の弁 15 は、第 1 実施例における低温側のジュールトムソン弁 24 による圧力低減機能を兼ねるように設定することができる。高温側の弁 15 は、常温領域に配置されているため、操作性が良好であり、万一、詰まり等の不具合が生じていてもメンテナンスは容易である。低温側のジュールトムソン弁 24 が廃止されているため、低温側のジュールトムソン弁 24 における詰まりの不具合を解消することができる。

【0108】

図 17 は第 3 実施例を示す。第 3 実施例によれば、低温側のジュールトムソン弁 24 及び高温側の弁 15 の双方が廃止されている。低温側のジュールトムソン弁 24 が廃止されているため、低温側のジュールトムソン弁 24 における詰まりの不具合を解消することができる。このように低温側のジュールトムソン弁 24 を廃止するにあたり、最後の熱交換器 23 における冷媒の圧力低下を確保する必要がある。

【0109】

図 18 は第 4 実施例を示す。第 4 実施例によれば、低温側のジュールトムソン弁 24 が設けられているものの、高温側の弁 15 は廃止されている。

【0110】

(その他)

上記した実施例によれば、圧送手段としてのコンプレッサー部 11 を主冷凍回路 1 及び予冷冷凍機であるパルス管冷凍機 3 とで共用しているが、これに限らず、主冷凍回路 1 専用のコンプレッサー部、予冷冷凍機専用のコンプレッサー部を設けることにしても良い。パルス管冷凍機 3 は 1 ステージタイプでも、3 ステージタイプでも良い。上記した第 1 実施例によれば、予冷冷凍機としてパルス管冷凍機 3 を用いているが、これに限らず、ギフォード・マクマホン冷凍機、ソルベ

イ冷凍機、ヴィルミエ冷凍機またはスターリング冷凍機としても良い。

【0111】

上記した実施例によれば、高圧通路 1 a には熱交換器 2 1、2 2、2 3 が並設されているが、極低温発生装置の用途によっては、熱交換器 2 2、2 3 としても良く、熱交換器 2 3 のみでも良い。その他、本発明は上記した実施例のみに限定されるものではなく、要旨を逸脱しない範囲内で適宜変更して実施できるものである。発明の実施の形態、実施例に記載の語句は一部であっても、請求項に記載できるものである。

【0112】

【発明の効果】

以上説明したように本発明に係るによれば、極低温を得るのに有利であり、ヘリウム等の冷媒の液化に有利な極低温発生装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 第 1 実施例に係り、極低温発生装置の概念を示す構成図である。

【図 2】 圧損促進型の熱交換器の高圧ガス通路における冷媒の圧力低下の状況を示すグラフである。

【図 3】 圧損促進型の熱交換器の高圧ガス通路における冷媒の高圧ガス、低圧ガス通路における冷媒の低圧ガスの温度変化の状況を示すグラフである。

【図 4】 冷媒のエントロピーと温度との関係を示すグラフである。

【図 5】 形態例 1 に係り、圧損促進型の熱交換器の要部を示す斜視図である。

【図 6】 形態例 2 に係り、圧損促進型の熱交換器を示す断面図である。

【図 7】 形態例 2 に係り、圧損促進型の熱交換器を構成するスパイラル管を示す構成図である。

【図 8】 スペーサ部材をスパイラル管に取り付けた状態を示す構成図である。

【図 9】 形態例 3 に係り、圧損促進型の熱交換器を示す構成図である。

【図 10】 形態例 4 に係り、圧損促進型の熱交換器を示す構成図である。

【図 11】 形態例 5 に係り、圧損促進型の熱交換器を示す構成図である。

【図 12】 形態例 6 に係り、圧損促進型の熱交換器を示す構成図である。

【図 13】 形態例 7 に係り、圧損促進型の熱交換器を示す構成図である。

【図 1 4】形態例 8 に係り、圧損促進型の熱交換器を示す構成図である。

【図 1 5】形態例 9 に係り、圧損促進型の熱交換器を示す構成図である。

【図 1 6】第 2 実施例に係り、極低温発生装置の概念を示す構成図である。

【図 1 7】第 3 実施例に係り、極低温発生装置の概念を示す構成図である。

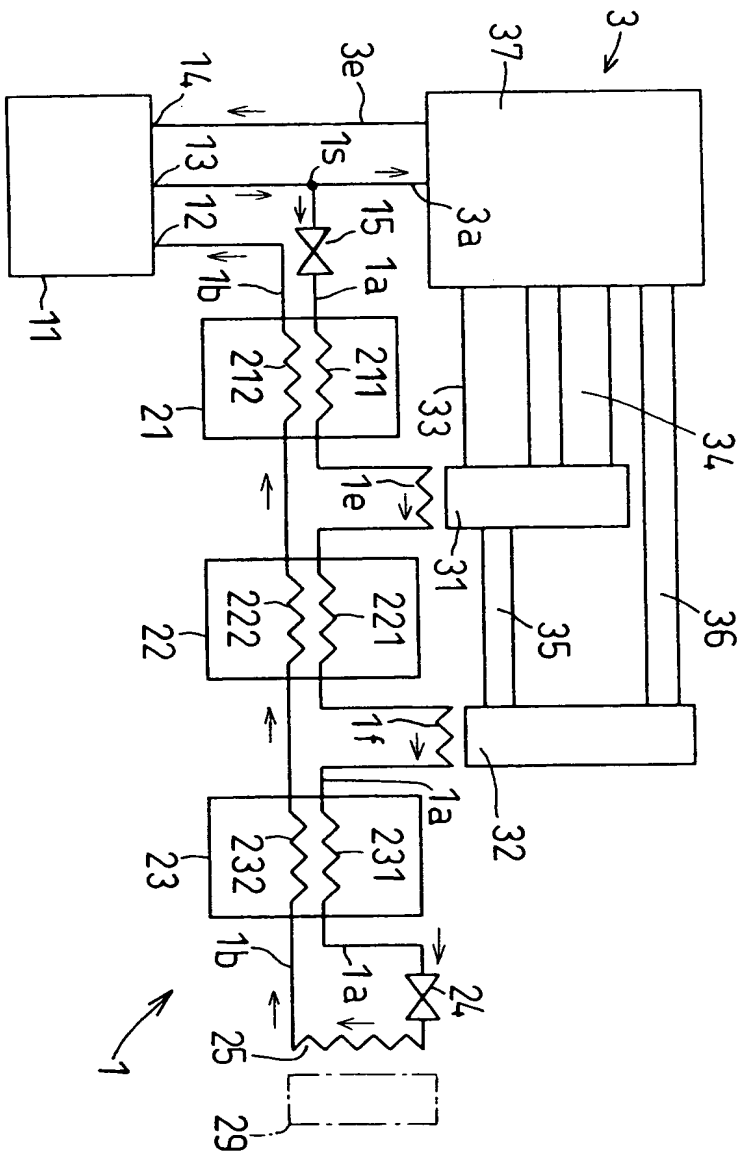
【図 1 8】第 4 実施例に係り、極低温発生装置の概念を示す構成図である。

【符号の説明】

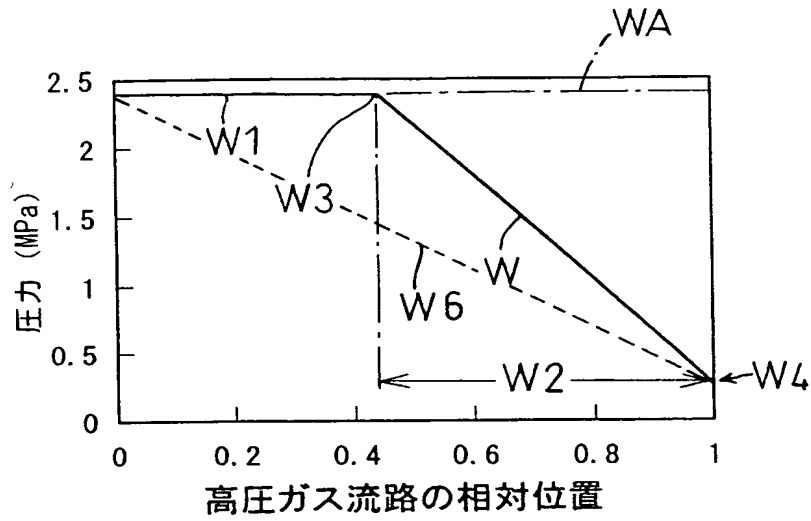
図中、1 は主冷凍回路、1 1 はコンプレッサー部（圧送手段）、1 2 は低压ガスポート（吸込ポート）、1 3 は高压ガスポート（吐出ポート）、1 4 は中圧ガスポート、2 5 は冷却手段、2 1、2 2 は熱交換器、2 3 は圧損促進型の熱交換器、2 3 1 は高压ガス通路、2 3 2 は低压ガス通路、2 4 はジュールトムソン弁、3 はパルス管冷凍機（予冷冷凍機）、1 0 0 は圧損通路を示す。

【書類名】 図面

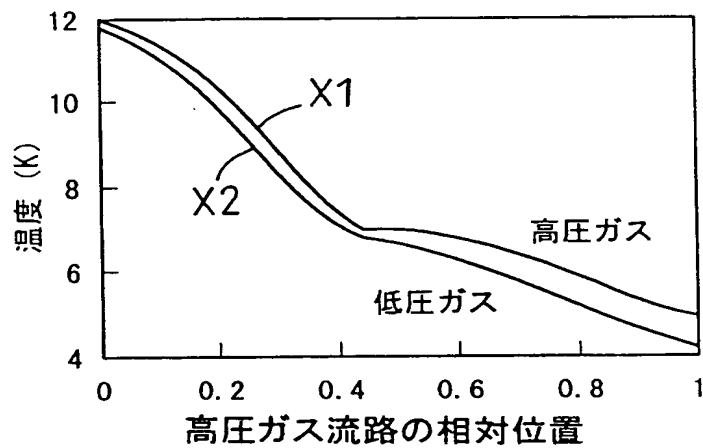
【図 1】



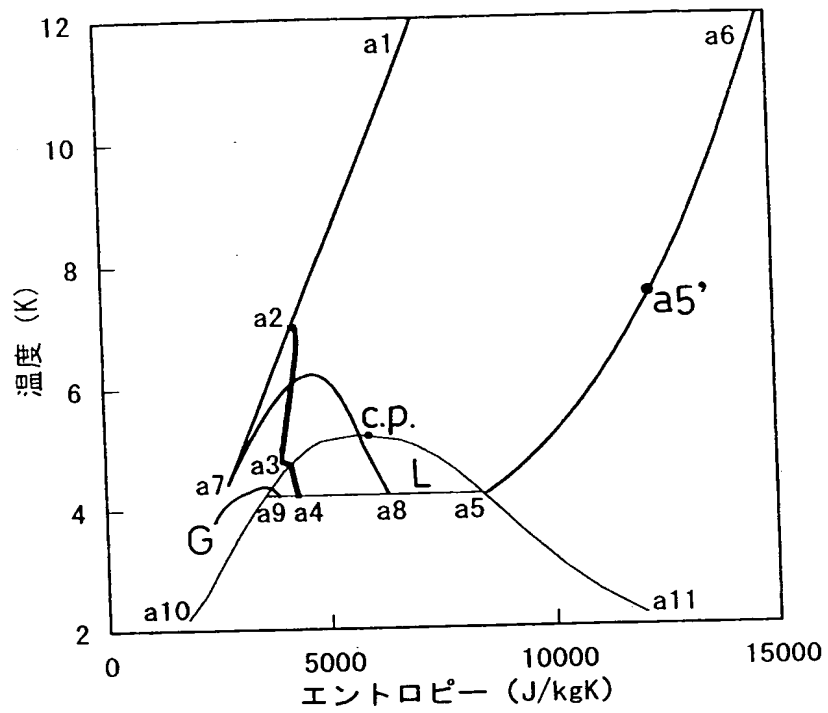
【図 2】



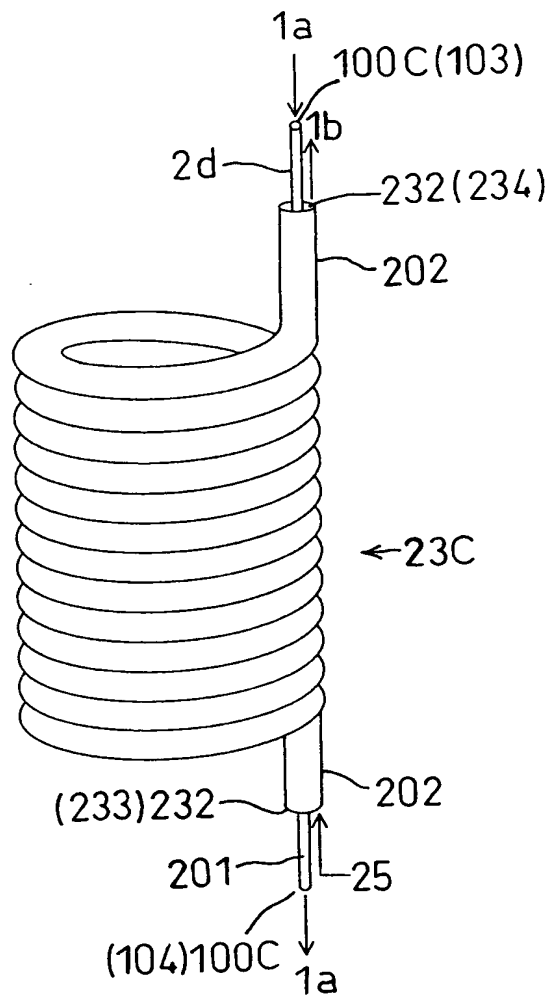
【図 3】



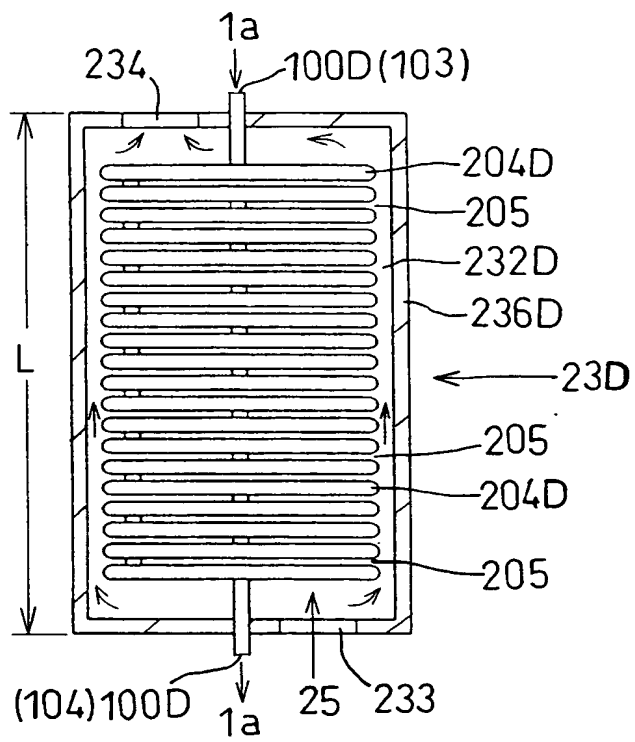
【図 4】



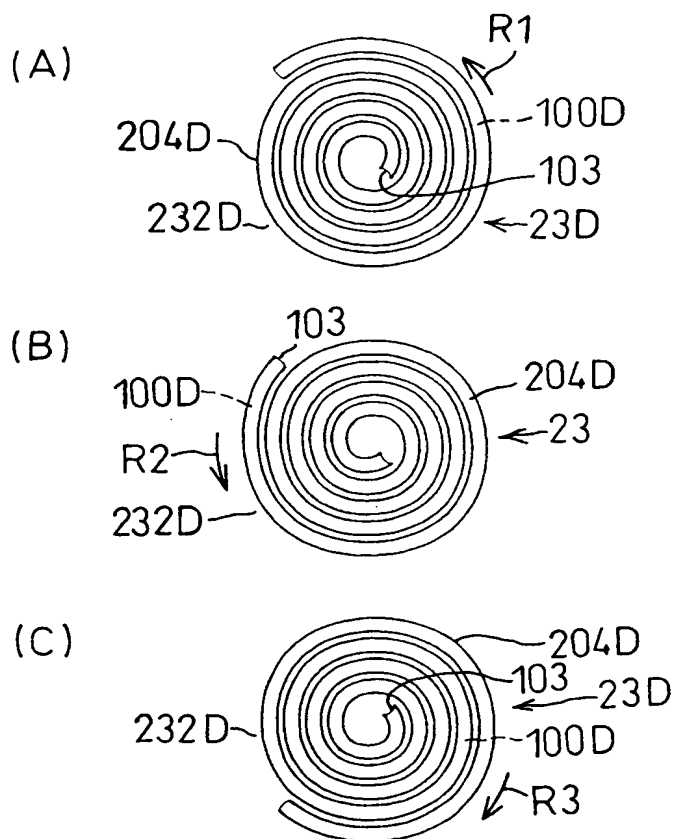
【図 5】



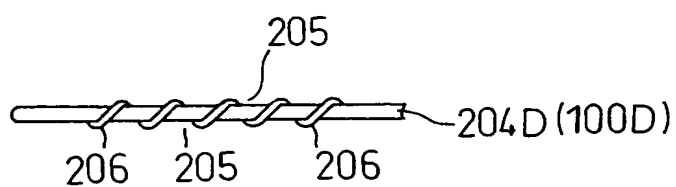
【図 6】



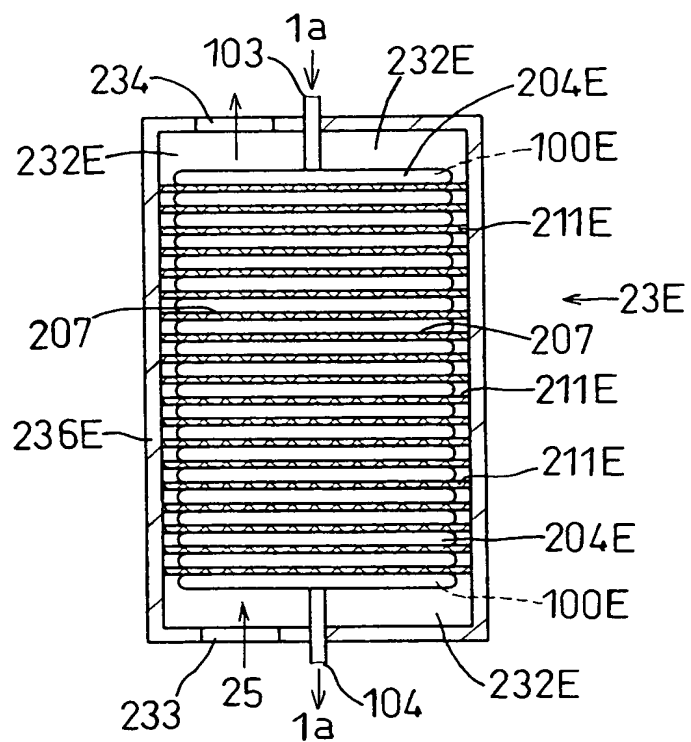
【図 7】



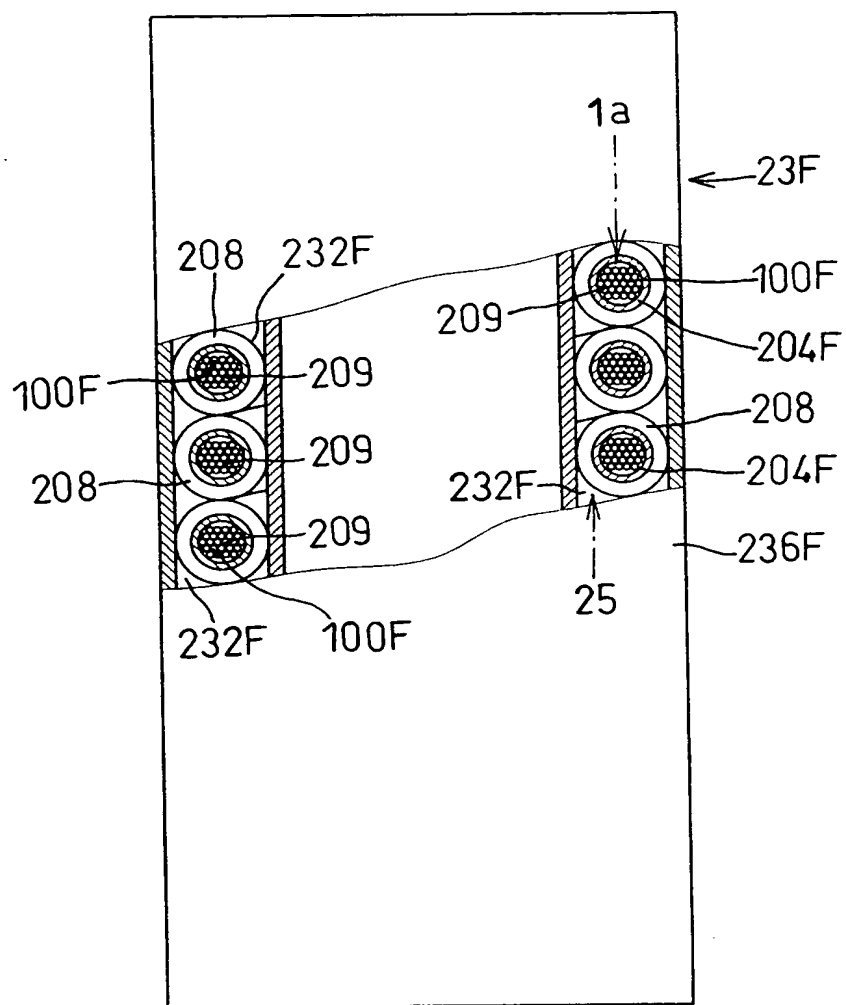
【図 8】



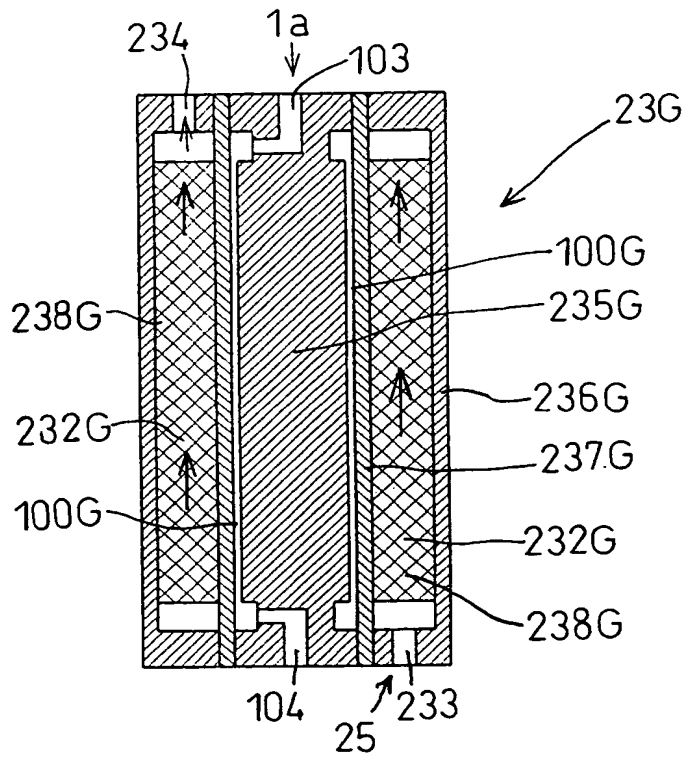
【图 9】



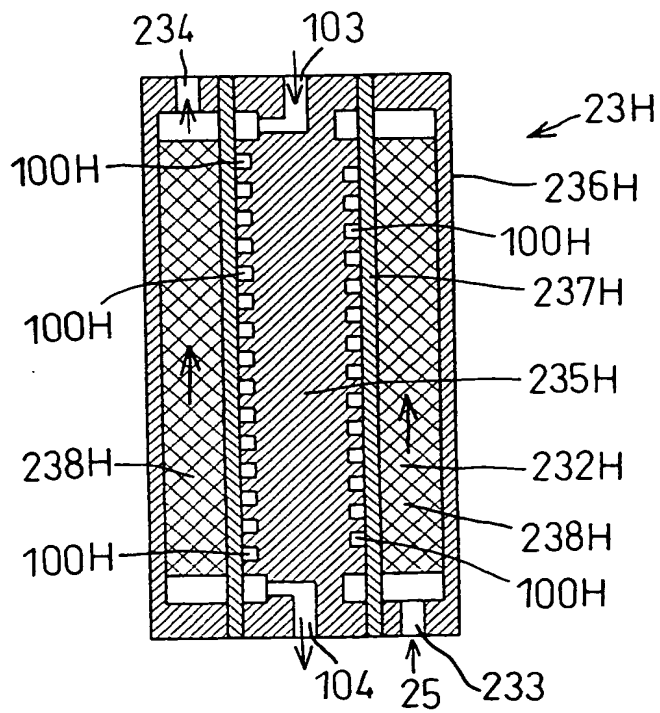
【図 10】



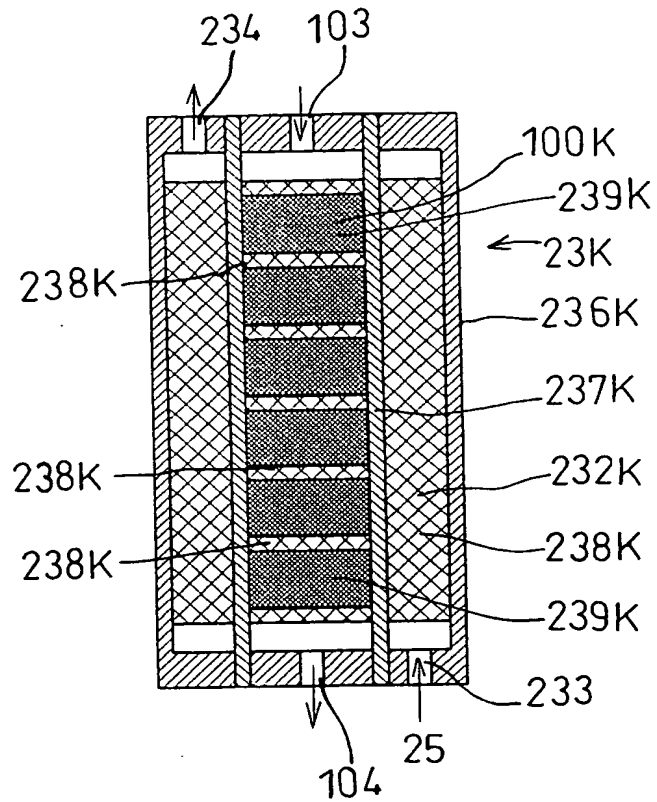
【図 1 1】



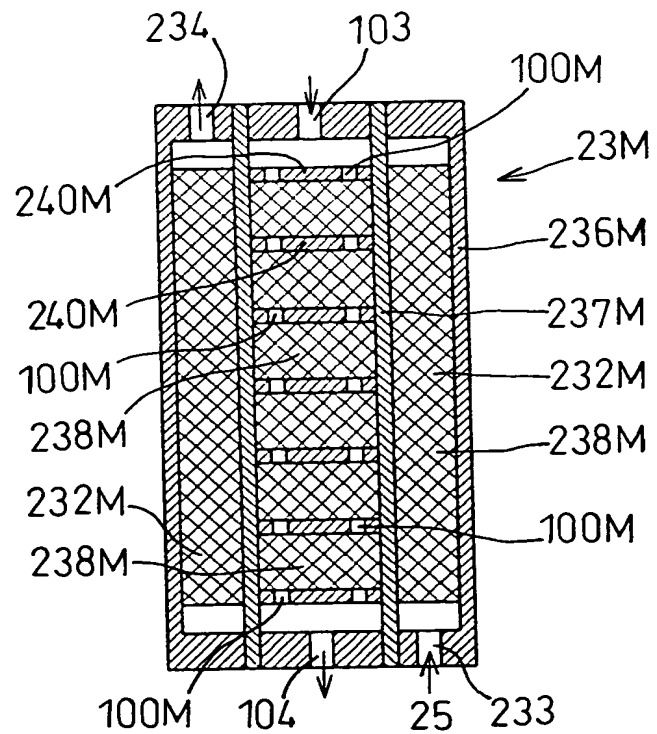
【図 1 2】



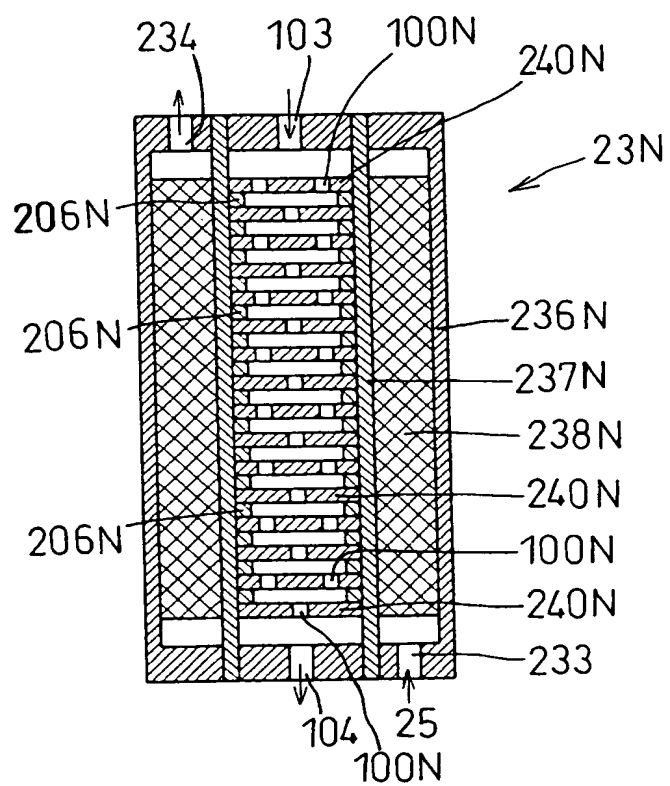
【図 13】



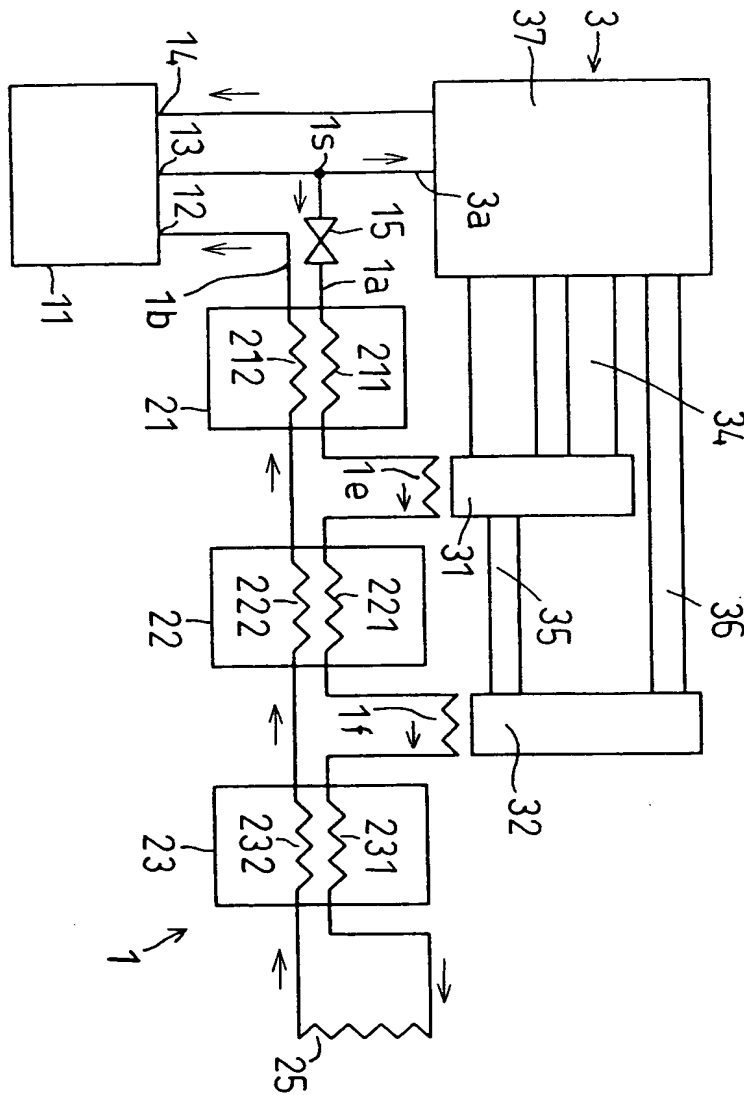
【図 14】



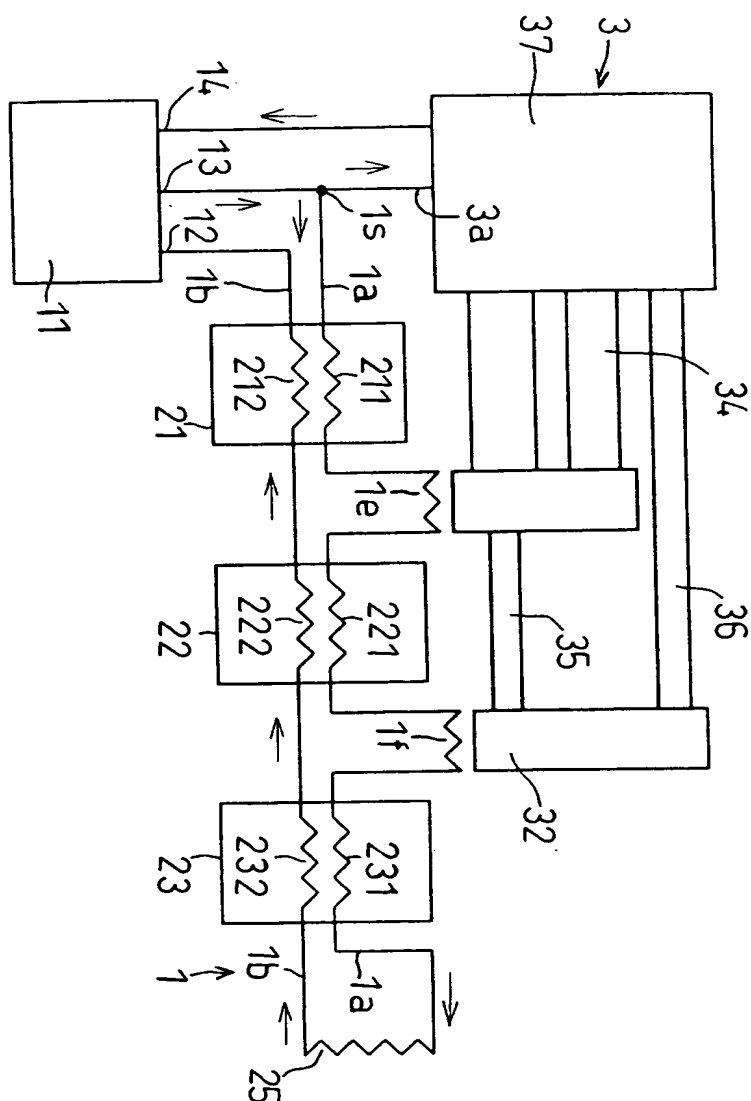
【図 15】



【図 16】



【図 17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 極低温を得るのに有利であり、ヘリウム等の冷媒の液化に有利な極低温発生装置を提供する。

【解決手段】 圧送手段 11 と、被冷却体 29 を冷却する冷却手段 25 と、圧送手段 11 の吐出ポートと冷却手段 25 とを連通する高圧通路 1a と、圧送手段 11 の吸込ポートと冷却手段 25 とを連通する低圧通路 1b と、高圧通路 1a に直列に並設された 1 又は 2 以上の熱交換器とをもつ。熱交換器は、冷却手段 25 に流入する前の高圧通路 1a の冷媒の圧力を低下させる圧損促進型の熱交換器 23 を含む。熱交換器 23 に流入する前の冷媒の圧力を P_h とし、冷却手段 25 に流入する前の冷媒の圧力を P_c とし、 P_h と P_c との圧力の差を 100% としたとき、熱交換器 23 は、100% のうちの 5% 以上の比率で冷媒の圧力を低下させつつ冷媒を冷却させる。

【選択図】 図 1



特願 2 0 0 3 - 0 9 2 0 2 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 0 0 1 1]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 8 日
[変更理由]	新規登録
住 所	愛知県刈谷市朝日町 2 丁目 1 番地
氏 名	アイシン精機株式会社